

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

EXPRESS MAIL NO. EV327881103US

Applicant : Takayuki Miyakawa, et al.  
Application No. : N/A  
Filed : April 15, 2004  
Title : RAMAN GAIN MEASURING METHOD AND APPARATUS

Grp./Div. : N/A  
Examiner : N/A

Docket No. : 52308/DBP/T360

LETTER FORWARDING CERTIFIED  
PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Post Office Box 7068  
Pasadena, CA 91109-7068  
April 15, 2004

Commissioner:

Enclosed is a certified copy of Japanese Patent Application No. 2003-112563, which was filed on April 17, 2003, the priority of which is claimed in the above-identified application.

Respectfully submitted,

CHRISTIE, PARKER & HALE, LLP

By D Bruce Prout  
D. Bruce Prout  
Reg. No. 20,958  
626/795-9900

DBP/aam  
Enclosure: Certified copy of patent application

AAM PAS560855.1-\*-04/15/04 9:53 AM

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 4月17日  
Date of Application:

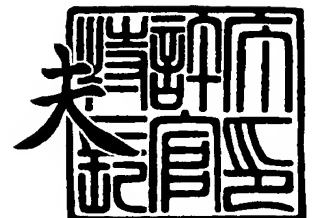
出願番号 特願2003-112563  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2003-112563]

出願人 KDDI株式会社  
Applicant(s):

2004年 3月 4日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康夫



出証番号 出証特2004-3016832

【書類名】 特許願

【整理番号】 KDD03022

【提出日】 平成15年 4月17日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01M 11/00

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県上福岡市大原二丁目 1 番 1 5 号株式会社ケイディー  
                            ーディーアイ研究所内

    【氏名】 宮川 哲之

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県上福岡市大原二丁目 1 番 1 5 号株式会社ケイディー  
                            ーディーアイ研究所内

    【氏名】 長尾 康之

【特許出願人】

    【識別番号】 000208891

    【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿二丁目 3 番 2 号

    【氏名又は名称】 K D D I 株式会社

    【代表者】 小野寺 正

【代理人】

    【識別番号】 100090284

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 田中 常雄

    【電話番号】 03-5396-7325

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 011073

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0016425

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ラマン利得測定方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ラマン増幅媒体（1 2， 1 1 2）に C W プローブ光を入力するステップと、

変調度 m で 2 値強度変調されたラマンポンプ光を発生するステップと、

当該ラマンポンプ光を当該ラマン増幅媒体（1 2， 1 1 2）に入力するステップと、

当該ラマン増幅媒体（1 2， 1 1 2）を伝搬したプローブ光の交流成分及び直流成分に関する 2 つの指標値を抽出するステップと、

当該 2 つの指標値及び当該変調度 m から当該ラマン増幅媒体のラマン利得を決定するステップ

とを具備することを特徴とするラマン利得測定方法。

【請求項 2】 当該ラマンポンプ光を当該ラマン増幅媒体（1 2）に入力するステップが、当該ラマンポンプ光を、当該プローブ光とは逆方向に伝搬するように当該ラマン増幅媒体（1 2）に入力するステップから成る請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】 当該ラマン増幅媒体（1 2， 1 1 2）を伝搬したプローブ光の交流成分及び直流成分を抽出するステップが、

当該ラマン増幅媒体（1 2， 1 1 2）を伝搬したプローブ光を受光素子（2 4）により電気信号に変換するステップと、

当該電気信号から当該 2 つの指標値を抽出するステップ  
とからなる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】 当該ラマン増幅媒体（1 2， 1 1 2）を伝搬したプローブ光の交流成分及び直流成分を抽出するステップが、

当該ラマン増幅媒体（1 2， 1 1 2）を伝搬したプローブ光を 2 つの受光素子（2 4 b， 2 4 c）により電気信号に変換するステップと、

当該 2 つの受光素子（2 4 b， 2 4 c）から出力される各電気信号から当該 2 つの指標値を抽出するステップ

とからなる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】 当該 2 つの指標値が、当該交流成分の振幅を示す指標値と、当該直流成分の振幅を示す指標値からなる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】 当該 2 つの指標値の一方が、2 値強度変調されたラマンポンプ光の第 1 のパワーレベルにおける当該ラマン増幅媒体 (12, 112) を伝搬したプローブ光のレベルを示す指標値、及び、2 値強度変調されたラマンポンプ光の第 2 のパワーレベルにおける当該ラマン増幅媒体 (12, 112) を伝搬したプローブ光のレベルを示す指標値の何れか一方である請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】 ラマン増幅媒体 (12, 112) のラマン利得を測定する装置であって、

連続レーザ光からなるプローブ光を発生し、当該ラマン増幅媒体 (12, 112) に印加するプローブ光源 (10, 110) と、

所定周波数 ( $f_m$ ) の変調度  $m$  で 2 値強度変調されるポンプ光を発生するポンプ光源 (14, 16, 20, 114, 116, 120, 115) と、

当該ポンプ光源から出力される当該ポンプ光を当該ラマン増幅媒体 (12, 112) に供給するポンプ光結合素子 (18, 118) と、

当該ラマン増幅媒体 (12, 112) を透過した当該プローブ光から、その交流成分及び直流成分に関する 2 つの指標値を検出する指標検出器 (24, 24a, 24b, 24c, 26, 28, 124, 126, 128, 132, 133) と、

当該指標検出器で検出される 2 つの指標値及び変調度  $m$  から当該ラマン増幅媒体のラマン利得を決定する演算器 (30, 130, 130a) とを具備することを特徴とするラマン利得測定装置。

【請求項 8】 当該ポンプ光源が、連続レーザ光を発生する励起レーザダイオード (14) と、当該励起レーザダイオード (14) の出力光を当該所定周波数 ( $f_m$ )、変調度  $m$  で 2 値強度変調する強度変調器 (16, 116) とからなる請求項 7 に記載の装置。

【請求項 9】 当該強度変調器が、光スイッチ (16) からなる請求項 8 に記載の装置。

【請求項 10】 当該指標検出器が、

当該ラマン増幅媒体（12，112）を透過した当該プローブ光を電気信号に変換する受光器（24，124）と、

当該受光器（24，124）から出力される当該電気信号から、交流成分及び直流成分に関する2つの指標値を測定する指標測定器（26，28，126，128，132，133）

とからなることを特徴とする請求項8に記載の装置。

【請求項 11】 当該指標測定器が、当該受光器（124）から出力される当該電気信号から、当該所定周波数（ $f_m$ ）の成分を検出する検出器（133）を具備する請求項10に記載の装置。

【請求項 12】 当該指標測定器が、当該受光器（24，124）から出力される当該電気信号の交流成分を検出する交流検出器（26，126）と、直流成分を検出する直流検出器（28，128）とからなる請求項10に記載の装置。

【請求項 13】 当該指標検出器が、当該受光器（24，124）の出力から、2値強度変調されたラマンポンプ光の第1のパワーレベルにおける当該ラマン増幅媒体（12）を伝搬したプローブ光のレベル、及び、2値強度変調されたラマンポンプ光の第2のパワーレベルにおける当該ラマン増幅媒体（12）を伝搬したプローブ光のレベルの何れか一方を検出するレベル検出器（132）と、当該受光器（24，124）の出力からその交流成分及び直流成分の一方を検出する検出器（26，126）とからなる請求項6に記載の装置。

【請求項 14】 当該指標検出器が、

当該ラマン増幅媒体（12）を透過した当該プローブ光を2つに分波する光分波器（24a）と、

当該光分波器（24a）の一方の出力光を電気信号に変換する第1の受光器（24b）と、

当該光分波器（24a）の他方の出力光を電気信号に変換する第2の受光器（24c）と、

当該第1の受光器（24b）から出力される当該電気信号から、交流成分及び直流成分に関する2つの指標値の一方を測定する第1の指標測定器（26，12

6, 128, 133)

当該第2の受光器(24c)から出力される当該電気信号から、交流成分及び直流成分に関する2つの指標値の他方を測定する第2の指標測定器(28, 128, 132)

とからなることを特徴とする請求項8に記載の装置。

【請求項15】 当該第1の指標測定器が、当該第1の受光器から出力される当該電気信号から、当該所定周波数( $f_m$ )の成分を検出する検出器(133)からなる請求項14に記載の装置。

【請求項16】 当該第1の指標測定器が、当該第1の受光器から出力される当該電気信号の交流成分を検出する交流検出器からなり、当該第2の指標測定器が、当該第2の受光器から出力される当該電気信号の直流成分を検出する直流検出器(28, 128)からなる請求項14に記載の装置。

【請求項17】 当該第1の指標測定器が、当該第1の受光器の出力から、2値強度変調されたラマンポンプ光の第1のパワーレベルにおける当該ラマン増幅媒体(12)を伝搬したプローブ光のレベル、及び、2値強度変調されたラマンポンプ光の第2のパワーレベルにおける当該ラマン増幅媒体(12)を伝搬したプローブ光のレベルの何れか一方を検出するレベル検出器(132)からなり、

当該第2の指標測定器が、当該第2の受光器の出力から、その交流成分及び直流成分の一方を検出する検出器(26, 126)からなる請求項14に記載の装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、ラマン増幅器の利得、即ちラマン利得を測定する方法及び装置に関する。

#### 【0002】

#### 【従来の技術】

ラマン利得は、そもそも、ラマンポンプ光が存在しないときの信号光の光強度(又は光パワー)に対する、ラマンポンプ光が存在するときの信号光の光強度(



又は光パワー)より定義される。そのような測定方法が、例えば、特開 2 0 0 2 - 2 9 6 1 4 5 号公報の段落 0 0 0 5 及び図 2、並びに、特開 2 0 0 2 - 2 5 0 6 7 4 号公報に記載されている。

#### 【0 0 0 3】

特開 2 0 0 2 - 2 9 6 1 4 5 号公報には更に、ラマンポンプ光を光ファイバ伝送路に印加しているときと、ラマンポンプ光を光ファイバ伝送路に印加していないときの両方について OTDR (Optical Time Domain Reflectometry) により、光ファイバ伝送路上でのテスト光のパワー変化を測定し、伝搬損失の差から光ファイバ伝送路のラマン利得を算出する方法が記載されている。

#### 【0 0 0 4】

ラマン利得係数を精度良く測定するための条件が、特開 2 0 0 2 - 2 0 2 2 2 4 号公報に記載されている。

#### 【0 0 0 5】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ラマンポンプ光のオン／オフをマニュアルで行う従来の方法では、手間と時間がかかり、効率的にラマン利得を測定できるものではなかった。OTDRを使用する場合、装置が大掛かりになる。

#### 【0 0 0 6】

従来の何れの方法でも、ラマン利得を十分な精度で検出するには、1 0 0 mW 以上の高パワーのポンプ光を入力する必要があった。このような高パワーのポンプ光を入力すると、光ファイバ伝送路の光ファイバ端面に損傷を与えることがある。例えば、端面に埃などが付着したり、端面に傷があると、その部分が高パワーのポンプ光により破壊されることがありうる。

#### 【0 0 0 7】

また、従来の何れの方法も、低ラマン利得領域でラマン利得を測定することが困難であった。

#### 【0 0 0 8】

本発明は、低ラマン利得領域でも高精度にラマン利得を測定できる方法を及び

装置を提示することを目的とする。

【0009】

本発明はまた、高パワーのポンプ光を必要とせずに、ラマン利得を測定できる方法を及び装置を提示することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明に係るラマン利得測定方法は、ラマン増幅媒体にCWプローブ光を入力するステップと、変調度 $m$ で2値強度変調されたラマンポンプ光を発生するステップと、当該ラマンポンプ光を当該ラマン増幅媒体に入力するステップと、当該ラマン増幅媒体を伝搬したプローブ光の交流成分及び直流成分に関する2つの指標値を抽出するステップと、当該2つの指標値及び当該変調度 $m$ から当該ラマン増幅媒体のラマン利得を決定するステップとを具備することを特徴とする。

【0011】

本発明に係るラマン利得測定装置は、ラマン増幅媒体のラマン利得を測定する装置であって、連続レーザ光からなるプローブ光を発生し、当該ラマン増幅媒体に印加するプローブ光源と、所定周波数の変調度 $m$ で2値強度変調されるポンプ光を発生するポンプ光源と、当該ポンプ光源から出力される当該ポンプ光を当該ラマン増幅媒体に供給するポンプ光結合素子と、当該ラマン増幅媒体を透過した当該プローブ光から、その交流成分及び直流成分に関する2つの指標値を検出する指標検出器と、当該指標検出器で検出される2つの指標値及び変調度 $m$ から当該ラマン増幅媒体のラマン利得を決定する演算器とを具備することを特徴とする。

【0012】

【実施例】

以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0013】

図1は、本発明の第1実施例の概略構成ブロック図を示し、図2は、図1に示す実施例における、強度変調されたポンプ光と、ラマン増幅されたプローブ光の波形例を示す。

## 【0014】

プローブレザダイオード（プローブLD）10は、波長 $\lambda_s$ の連続（CW）レーザ光であるプローブ光を光ファイバ伝送路12に出力する。このプローブ光は、信号光の代わりである。光ファイバ伝送路12、特にその出力側部分が、分布ラマン増幅媒体となる。

## 【0015】

励起レーザダイオード（励起LD）14は、プローブ光の波長 $\lambda_s$ よりほぼ100nm短い波長 $\lambda_p$ のラマンポンプ光を発生する。励起LD14の出力光は、光スイッチ16及び波長分割多重（WDM）光カップラ18を介して、光ファイバ伝送路12にその後方から入力する。即ち、光ファイバ伝送路12上で、プローブ光とポンプ光は逆方向に伝搬する。光ファイバ伝送路12は、ポンプ光により励起されて、プローブ光をラマン増幅する。

## 【0016】

光スイッチ16は、クロック発生回路20の発生する周波数 $f_m$ のクロックによりオン／オフされる。即ち、本実施例では、光ファイバ伝送路12を励起するポンプ光が、周波数 $f_m$ でオン／オフ変調される。

## 【0017】

光ファイバ伝送路12を伝搬し、ラマン増幅されたプローブ光は、中心波長 $\lambda_s$ の光バンドパスフィルタ22を透過して、受光素子24に入力する。受光素子24は、入力するプローブ光の強度に従う振幅の電気信号を発生する。受光素子24の出力電気信号は、その交流成分、より具体的には周波数 $f_m$ の成分を検出する検波器26と、直流成分を検出するローパスフィルタ28に入力する。

## 【0018】

検波器26は、二乗検波により受光素子24の出力の交流成分を検出する。検波器26は、クロック発生回路20から出力されるクロックに同期して、受光素子24の出力の周波数 $f_m$ の成分を検波する検波器であってもよい。他方、ローパスフィルタ28は、受光素子24の出力から直流成分を検出する。

## 【0019】

演算回路30は、検波器26及びLPF28の出力から、光スイッチ16がオ

ンのときの受光素子 24 の出力レベルと、光スイッチ 16 がオフのときの受光素子 24 の出力レベルを算出し、前者を後者で除算する。前者は、光ファイバ伝送路 12 が分布ラマン増幅媒体となっているときに、ラマン増幅されたプローブ光の光パワーを示し、後者は、光ファイバ伝送路 12 が分布ラマン増幅媒体となっていないときの、光ファイバ伝送路 12 の損失により減衰したプローブ光の光パワーを示す。従って、前者を後者で除算した結果は、光ファイバ伝送路 12 が分布ラマン増幅媒体として動作するときのラマン利得  $G$  を示す。

#### 【0020】

クロック発生回路 20 は、周波数  $f_m$  でデューティ比 50% のクロックを発生する。光スイッチ 16 は、クロック発生回路 20 の出力クロックによりオン／オフされる。例えば、クロック発生回路 20 の出力が高 (H) のとき、光スイッチ 16 がオンになり、クロック発生回路 20 の出力が低 (L) のとき、光スイッチ 16 がオフになる。光スイッチ 16 がオンのとき、励起 LD 14 の出力ポンプ光が光スイッチ 16 及び WDM 光カップラ 18 を介して、光ファイバ伝送路 12 に印加される。

#### 【0021】

図 2 の波形 40 は、光スイッチ 16 によりオン／オフされたラマンポンプ光の波形例を示す。波形 40 のポンプ光が、光ファイバ伝送路 12 にその後方から入力する。波形 42 は、光バンドパスフィルタ 22 の出力光の波形例を示す。

#### 【0022】

分布ラマン増幅では、ラマン増幅されるべきプローブ光がラマン増幅媒体である光ファイバ伝送路 12 を伝搬する間に継続的に、光ファイバ伝送路 12 がポンプ光により励起されている必要がある。従って、光スイッチ 16 をオンにする期間  $T_{on}$  は、この条件を満たす程度に長いものであればよい。

#### 【0023】

ラマン増幅媒体をプローブ光が伝搬し始める時に、ラマン増幅媒体がポンプ光で満たされており、プローブ光がラマン増幅媒体から出力される時にポンプ光がオフになればよいことになる。従って、光速を  $c$ 、実効的に必要なラマン増幅媒体となる部分の長さを  $L$ 、その部分の実効屈折率を  $n$  とし、波長  $\lambda_s$  と波長  $\lambda_p$

で実効屈折率  $n$  が等しいと仮定すると、ポンプ光をオンにする時間  $T_{on}$  は、 $2nL/c$  以上である必要がある。ラマン増幅媒体にポンプ光を入射しないときのラマン増幅媒体での損失を測定するにも、同程度の時間が少なくとも必要である。従って、ポンプ光をオフにする時間  $T_{off}$  も、 $2nL/c$  以上であればよい。但し、 $T_{on} + T_{off} = 1/f_m$  である。

#### 【0024】

ポンプ光がオンになった当初では、ラマン増幅が光ファイバ伝送路 12 の出力部分でのみ作用する。従って、光バンドパスフィルタ 22 の出力光は、ポンプ光がオンになった後に徐々に強くなり、光ファイバ伝送路 12 の広い範囲でラマン増幅が起きる程の時間が経過すると、一定値で安定する。ポンプ光がオフになると、光バンドパスフィルタ 22 の出力光は、徐々に弱くなり、光ファイバ伝送路 12 の広い範囲でポンプ光が存在しなくなると、光ファイバ 12 の損失だけ減衰した強さで安定する。

#### 【0025】

励起 LD 14 の出力光を光スイッチ 16 によりオン／オフ変調する実施例を説明したが、光スイッチ 16 を無くして、クロック発生回路 20 の出力クロックにより励起 LD 14 を直接、オン／オフ変調してもよいことは明らかである。例えば、励起 LD 14 にパルス駆動電流を印加すれば良い。

#### 【0026】

本実施例では、オン／オフ変調されたポンプ光でラマン増幅媒体を励起し、ラマン増幅媒体から出力されるプローブ光の変調周波数成分と直流成分を検出し、それらからラマン利得を決定するので、変調周波数成分以外の雑音成分、例えば、プローブレザダイオード 10 のドリフト成分等が除去される。これにより、測定精度が向上する。

#### 【0027】

小さいラマン利得も測定できるので、高パワーのポンプ光を入力しなくてもよくなり、光ファイバ端面等を損傷することが無くなる。

#### 【0028】

上記実施例では、ラマン増幅のポンプ光をオン／オフ変調したが、変調度  $m$  (

但し、 $0 < m \leq 1$ ) で強度変調しても、ラマン利得を測定できる。これは、ポンプ光パワーが小さい非飽和領域では、ラマン増幅の利得がラマンポンプ光の光パワー  $P$  に対して

$$K \times \exp(K \times P)$$

の関係で変化することを前提としている。但し、 $K$  は定数である。また、検波器 26 の代わりに、単に周波数  $f_m$  の成分を抽出する電気バンドパスフィルタを用いても良い。

#### 【0029】

図3は、ラマンポンプ光の強度を変調度  $m$  で2値変調する実施例の概略構成ブロック図を示す。変調度  $m$  は、高パワーのポンプ光に対する低パワーのポンプ光の減少率で定義され、1以下で0より大きい範囲の値を取る。変調度  $m$  が1のとき、第1実施例と同様に、ラマンポンプ光のオン／オフ変調になり、 $m=0$  のとき、ポンプ光パワーは一定となる。

#### 【0030】

プローブレザダイオード（プローブLD）110は、波長  $\lambda_s$  の連続（CW）レーザ光であるプローブ光を光ファイバ伝送路112に出力する。このプローブ光は、信号光の代わりである。光ファイバ伝送路112、特にその出力側部分が、分布ラマン増幅媒体となる。

#### 【0031】

励起レーザダイオード（励起LD）114は、プローブ光の波長  $\lambda_s$  よりほぼ100nm短い波長  $\lambda_p$  のCWラマンポンプ光を発生する。励起LD114の出力光は、強度変調器116及び波長分割多重（WDM）光カップラ118を介して、光ファイバ伝送路112にその後方から入力する。即ち、光ファイバ伝送路112上で、プローブ光とポンプ光は逆方向に伝搬する。光ファイバ伝送路112は、ポンプ光により励起されて、プローブ光をラマン増幅する。

#### 【0032】

強度変調器116は、変調信号発生回路120の発生する周波数  $f_m$  の変調信号に従い、励起LD114の出力光の強度を周波数  $f_m$  及び変調度  $m$  で変調する。変調信号発生回路120の発生する変調信号は、周波数  $f_m$  の矩形波形からな

る。変調度  $m$  は、0 より大きく、1 以下である。変調度  $m$  が 1 に等しいとき、第 1 実施例と同様のオン／オフ変調になる。

#### 【0033】

光ファイバ伝送路 112 を伝搬し、ラマン増幅されたプローブ光は、中心波長  $\lambda_s$  の光バンドパスフィルタ 122 を透過して、受光素子 124 に入力する。受光素子 124 は、入力するプローブ光の強度に従う振幅の電気信号を発生する。受光素子 124 の出力電気信号は、周波数  $f_m$  の交流成分を検出する電気バンドパスフィルタ 126 と、直流成分を検出するローパスフィルタ 128 に入力する。

#### 【0034】

図 4 は、強度変調されたラマンポンプ光波形 140 と受光素子 124 の出力波形 142 の一例を示す。受光素子 124 の出力波形 142 は、ラマンポンプ光の強度変動と同じ周波数  $f_m$  で変動する。強度変調されたラマンポンプ光の光強度が高い部分に対応する受光素子 124 の出力の振幅を  $A$ 、強度変調されたラマンポンプ光の光強度が低い部分に対応する受光素子 124 の出力の振幅を  $B$  とすると、ラマン利得  $G$  は、

$$G = \exp(m) \times A/B$$

で得られる。 $m$  は、上述した、ラマンポンプ光の変調度である。

#### 【0035】

L P F 128 の出力、即ち DC 成分の振幅は  $(A+B)/2$  であり、B P F 126 の振幅は  $(A-B)/2$  である。DC 成分の振幅を  $x$ 、AC 成分の振幅を  $y$  とすると、ラマン利得  $G$  は、

$$G = \exp(m) \cdot (x+y)/(x-y)$$

で求められる。演算回路 130 は、L P F 128 及び B P F 126 の出力から DC 成分の振幅  $x$  及び AC 成分の振幅  $y$  を求め、上式の演算を適用してラマン利得  $G$  を算出する。B P F 126 の代わりに検波器 26 を使用することで、直接、AC 成分の振幅  $y$  を得ることができる。

#### 【0036】

図 1 及び図 3 に示す実施例では、励起 LD 14、114 の出力光の強度を外部

変調器 16, 116 で変調したが、励起 LD 14, 114 を直接変調しても良いことは明らかである。

#### 【0037】

図 1 及び図 3 に示す実施例では、AC 成分と DC 成分を別個に抽出したが、強度変調されたラマンポンプ光の光強度が高い部分に対応する受光素子 24, 124 の出力の振幅 (図 4 の振幅 A) と、強度変調されたラマンポンプ光の光強度が低い部分に対応する受光素子 24, 124 の出力の振幅 (図 4 の振幅 B) とをサンプリングして測定し、その比からラマン利得を決定しても良い。また、DC 成分を測定する代わりに、図 4 の振幅 A 又は振幅 B をサンプリングして測定しても、ラマン利得 G を決定できることは明らかである。即ち、振幅 A, B の測定値は、当該光ファイバ伝送路 12, 112 を伝搬したプローブ光の交流成分及び直流成分に関する 2 つの指標値となりうる。

#### 【0038】

図 5 は、LPF 128 の代わりに、変調信号発生回路 120 の出力する矩形波形の変調信号に従い振幅 A (又は振幅 B) をサンプリングするゲート回路 132 を配置した変形構成例を示す。この場合、ゲート回路 132 は、出力段にサンプル値を平均化する平均化回路を具備するのが望ましいことは明らかである。演算回路 130a は、ゲート回路 132 の出力と、BPF 126 からの AC 成分の振幅と、変調度 m から、ラマン利得 G を算出する。

#### 【0039】

図 6 は、AC 成分の検出手段として、変調信号発生回路 120 から出力される矩形波形の変調信号に同期して、受光素子 124 の出力の周波数  $f_m$  の成分を検出するように構成した検波器 133 を使用する実施例の概略構成ブロック図を示す。図 3 と同じ構成要素には同じ符号を付してある。図 6 に示す構成の変更部分を詳細に説明する。

#### 【0040】

励起光源 115 は、変調信号発生回路 120 からの周波数  $f_m$  の矩形の変調信号に従い、周波数  $f_m$ 、変調度 m で強度を変調された波長  $\lambda_p$  のラマンポンプ光を発生する。励起光源 115 は、外部変調式の場合、図 1、図 3 及び図 5 に示す



ように、励起LDとその出力光を強度変調する強度変調器とからなり、直接変調の場合、励起LDのみからなる。

#### 【0041】

位相調整回路134は、変調信号発生回路120の出力の位相を後述するように調整し、参照信号として乗算器136に印加する。乗算器136は、受光素子124の出力に、位相調整回路134からの参照信号を乗算する。LPF138は乗算器136の出力から直流成分を抽出して、演算回路130に印加する。

#### 【0042】

受光素子124の出力信号の周波数 $f_m$ の成分が、

$$E \times \sin(\omega t + \alpha)$$

で表され、位相調整回路134から乗算器136に印加される参照信号が、

$$F \times \sin(\omega t + \beta)$$

で表されとする。Fは既知である。

#### 【0043】

乗算器136の出力は、

$$E \times F \times (\cos(\beta - \alpha)) / 2 - E \times F \times (\cos(2\omega t + \alpha + \beta)) / 2$$

となる。位相調整回路134は、 $\alpha = \beta$ となるように、変調信号発生回路120の出力の位相を調整する。このとき、乗算器136の出力は、

$$E \times F / 2 - E \times F \times (\cos(2\omega t + 2\alpha)) / 2$$

となる。LPF138は、乗算器136の出力の直流成分、即ち、 $E \times F / 2$ を抽出する。Fが既知であるので、LPF138の出力からE、即ち、受光素子124の出力に含まれる周波数 $f_m$ の成分の振幅を決定できる。

#### 【0044】

検波器133は、受光素子124の出力からラマンポンプ光の強度変調の周波数 $f_m$ と同じ周波数成分を検出しているが、変調周波数 $f_m$ の奇数倍又は性数倍の周波数成分を検出するようにしてもよい。その場合でも、ラマン利得Gを測定できる。

#### 【0045】

上記実施例では、光ファイバ伝送路 12, 112 を伝搬したプローブ光を電気信号に変換した後に、AC 成分及び DC 成分又は、これらに代わる指標値を測定したが、光ファイバ伝送路 12, 112 を伝搬したプローブ光を別々の受光素子で電気信号に変換して、各電気信号から AC 成分及び DC 成分又は、これらに代わる指標値を検出するようにしてもよい。即ち、2つの受光素子を用いても良い。

#### 【0046】

図7は、2つの受光素子を使用する変更実施例の変更部分の概略構成ブロック図を示す。図1と同じ構成要素には同じ符号を付してある。

#### 【0047】

分波器 24a は、光バンドパスフィルタ 22 の出力光を 2 分割し、一方を受光素子 24b に、他方を受光素子 24c に印加する。受光素子 24b は、入力光を電気信号に変換して、検波器 26 に供給し、受光素子 24c は入力光を電気信号に変換して、LPF 28 に供給する。検波器 26, LPF 28 及び演算回路 30 の作用は、図1に示す実施例と基本的に同じである。図7に示す構成では、受光素子 24b, 24c の光電変換特性の個体差を吸収するように、演算回路 30 で演算を調整する必要がある。

#### 【0048】

図7に示す実施例では、受光素子 24b, 24c の個体差を評価する必要があるが、基本的に、上記各実施例で得られるのと同様の利点を享受できる。

#### 【0049】

光ファイバ伝送路 12, 112 を伝搬したプローブ光の AC 成分に関する指標値として、変調周波数  $f_m$  の成分の振幅を測定する実施例を説明した。しかし、変調周波数  $f_m$  の整数倍の周波数成分も、光ファイバ伝送路 12, 112 を伝搬したプローブ光の AC 成分に関する指標値となりうる。

#### 【0050】

#### 【発明の効果】

以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、短時間で高精度にラマン利得を測定できる。

**【図面の簡単な説明】**

【図 1】 本発明の第 1 実施例の概略構成ブロック図である。

【図 2】 本実施例の波形例である。

【図 3】 本発明の第 2 実施例の概略構成ブロック図である。

【図 4】 第 2 実施例の波形例である。

【図 5】 本発明の第 3 実施例の概略構成ブロック図である。

【図 6】 本発明の第 4 実施例の概略構成ブロック図である。

【図 7】 本発明の第 5 実施例の概略構成ブロック図である。

**【符号の説明】**

1 0 : プロブレーザーダイオード (プロブ LD)

1 2 : 光ファイバ伝送路

1 4 : 励起レーザーダイオード (励起 LD)

1 6 : 光スイッチ

1 8 : WDM 光カップラ

2 0 : クロック発生回路

2 2 : 光バンドパスフィルタ

2 4 : 受光素子

2 4 a : 分波器

2 4 b, 2 4 c : 受光素子

2 6 : 検波器

2 8 : ローパスフィルタ

3 0 : 演算回路

1 1 0 : プロブレーザーダイオード (プロブ LD)

1 1 2 : 光ファイバ伝送路

1 1 4 : 励起レーザーダイオード (励起 LD)

1 1 5 : 励起光源

1 1 6 : 強度変調器

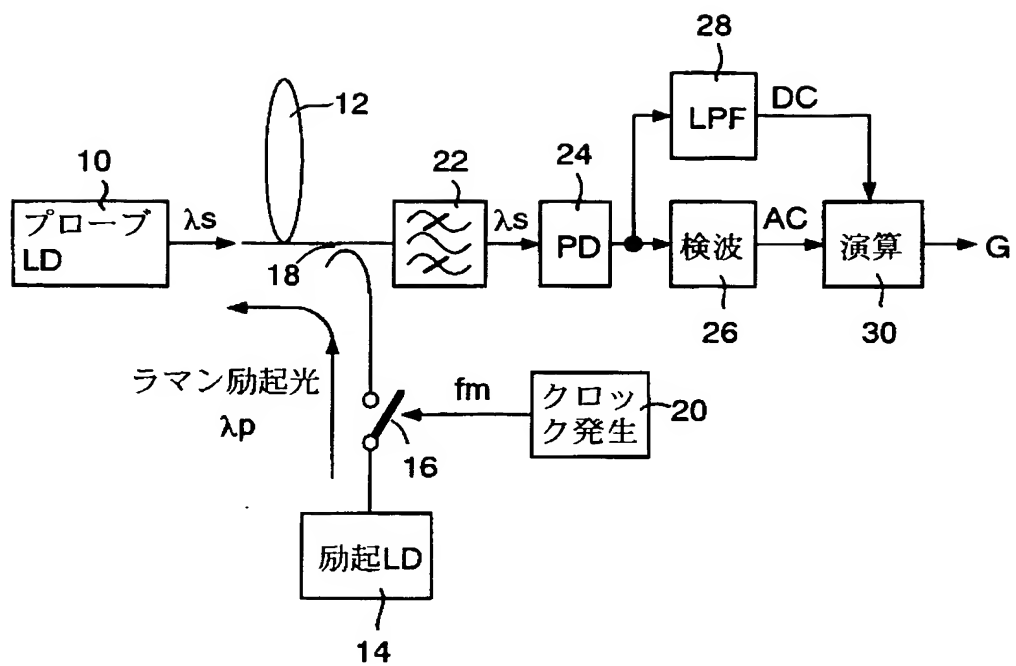
1 1 8 : WDM 光カップラ

1 2 0 : 変調信号発生回路

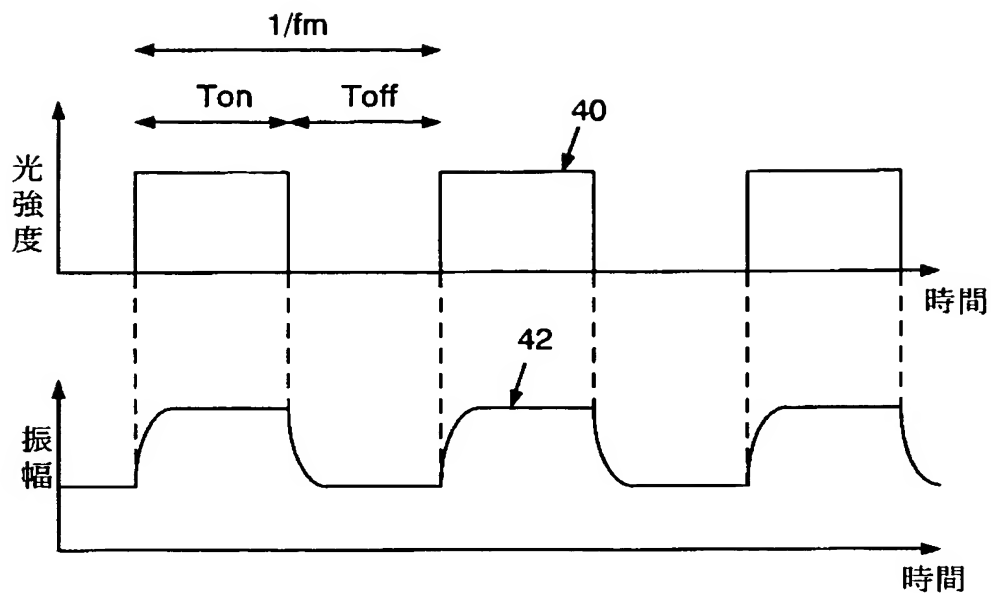
- 1 2 2 : 光バンドパスフィルタ
- 1 2 4 : 受光素子
- 1 2 6 : バンドパスフィルタ
- 1 2 8 : ローパスフィルタ
- 1 3 0 , 1 3 0 a : 演算回路
- 1 3 2 : ゲート回路
- 1 3 3 : 検波器
- 1 3 4 : 位相調整回路
- 1 3 6 : 乗算器
- 1 3 8 : ローパスフィルタ

【書類名】 図面

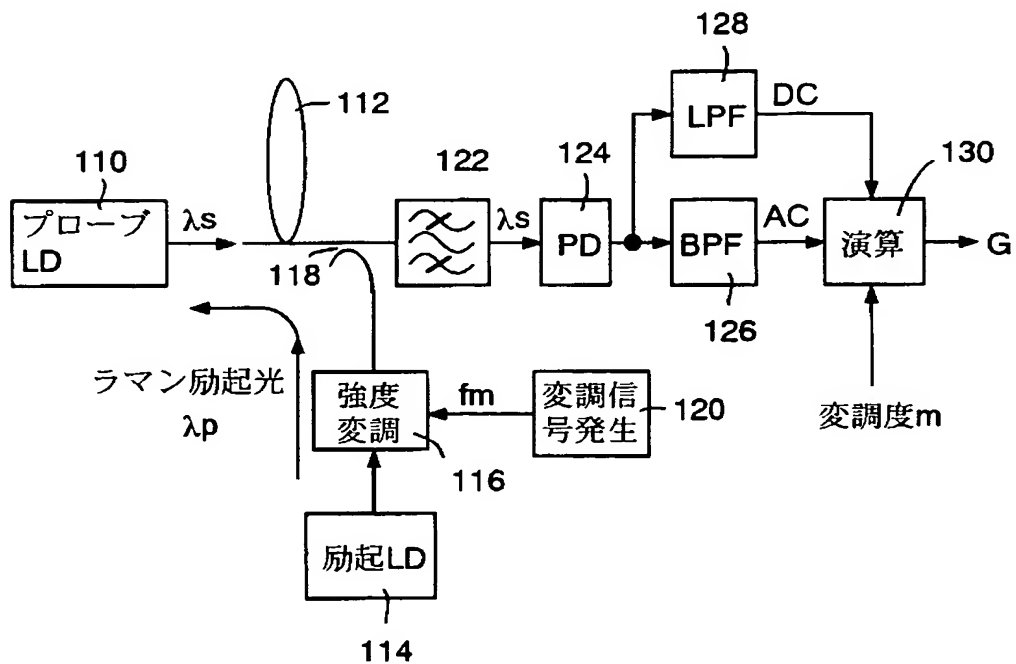
【図 1】



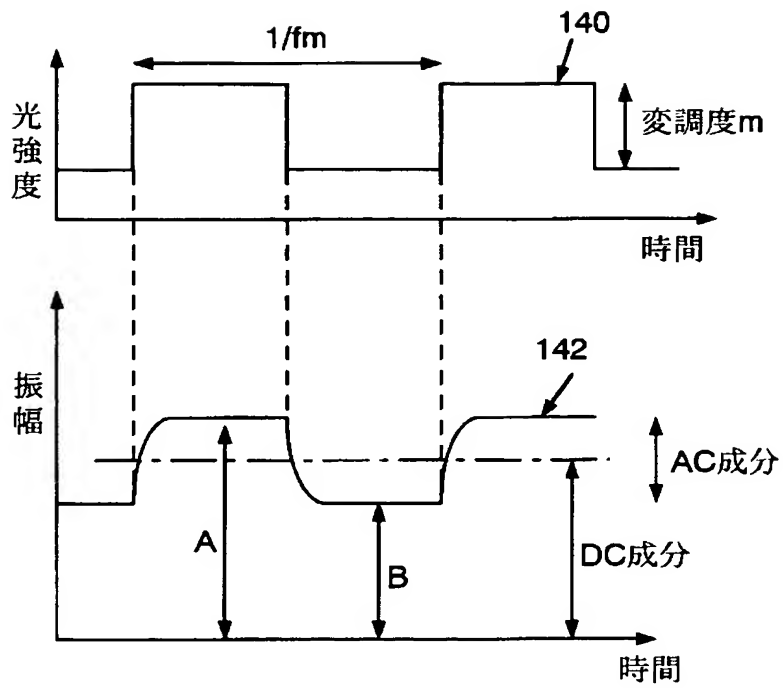
【図 2】



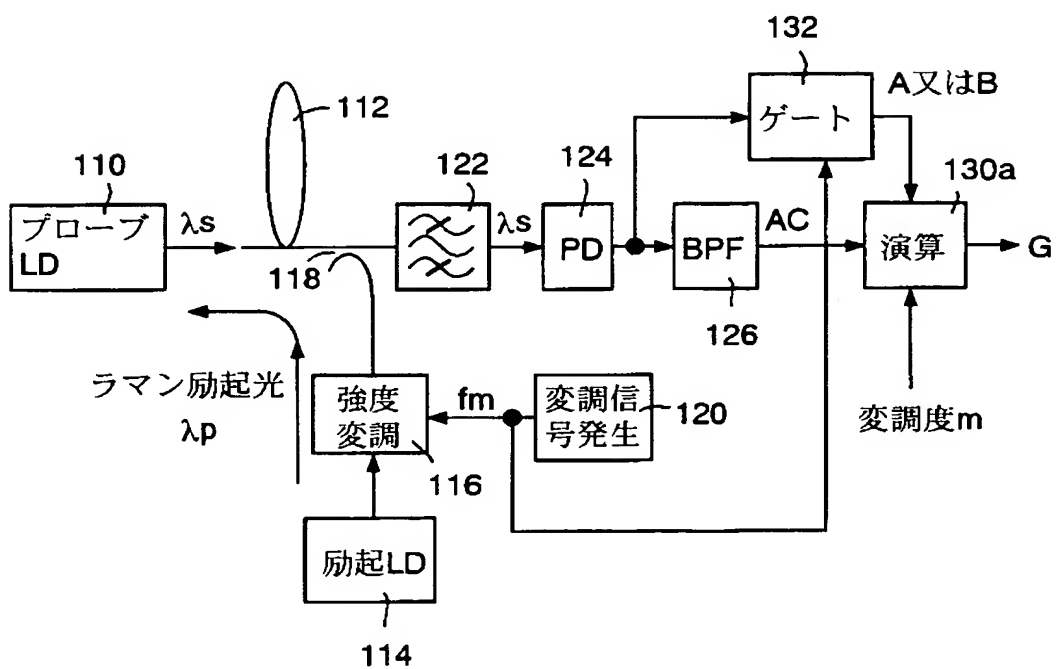
【図 3】



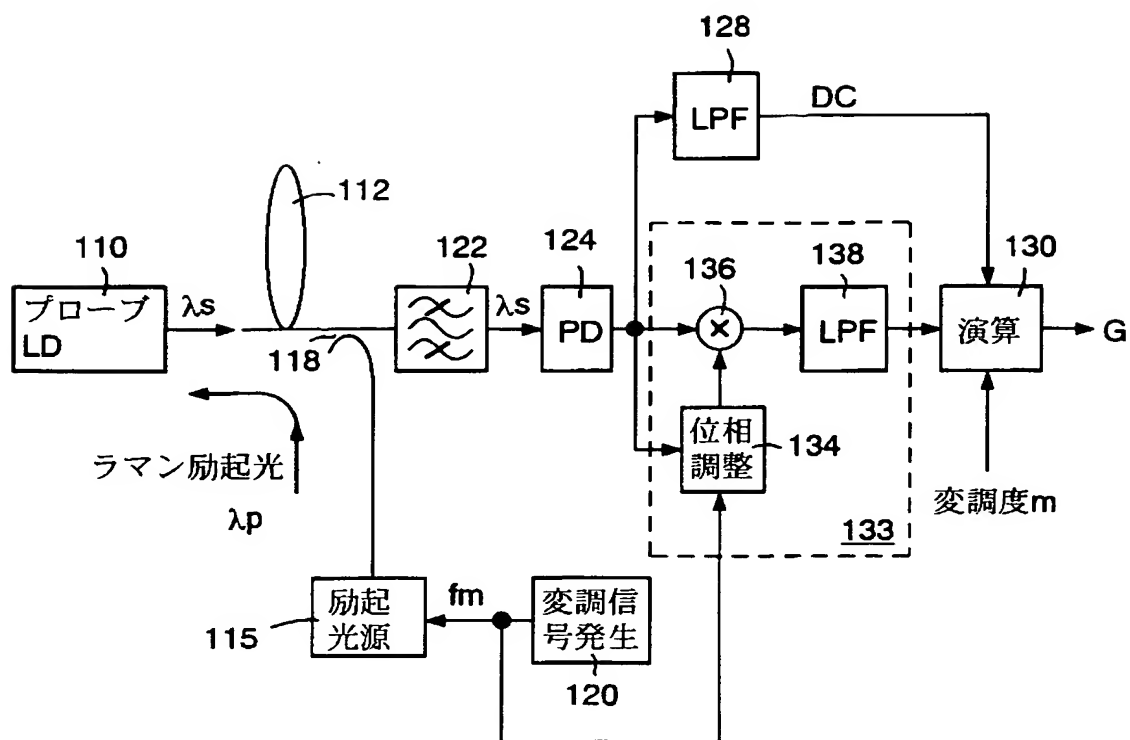
【図 4】



【図 5】

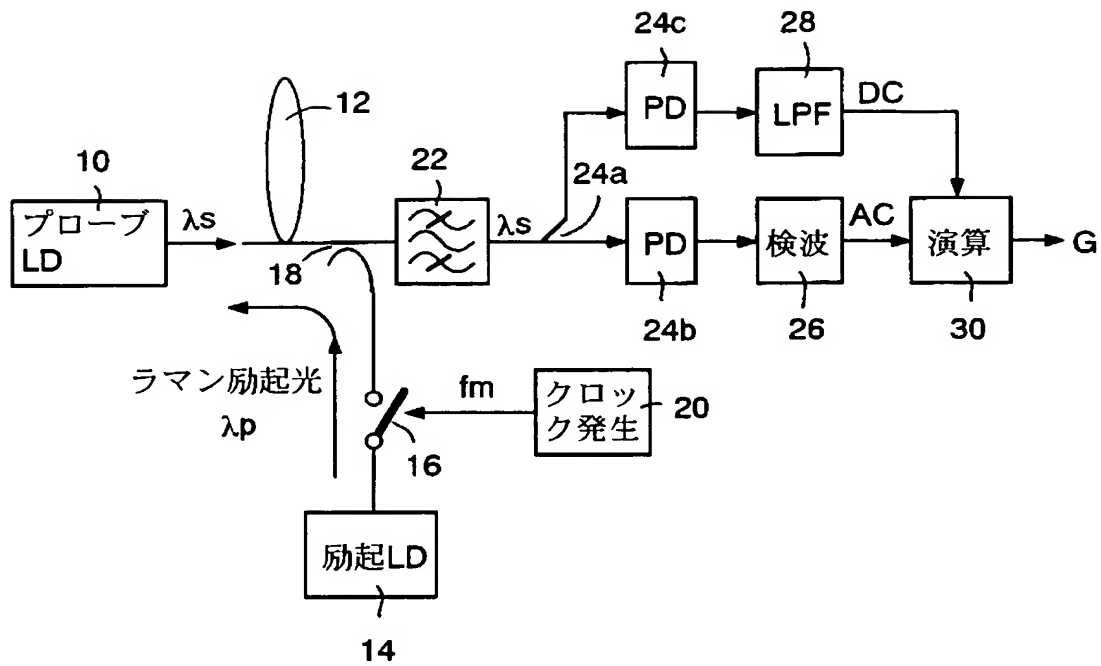


【図 6】





【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ラマン利得を高精度に測定する。

【解決手段】 プローブLD10は、波長 $\lambda_s$ の連続（CW）レーザ光であるプローブ光を光ファイバ伝送路12に出力する。励起レーザダイオード（励起LD）14は、波長 $\lambda_p$ のラマンポンプ光を発生する。光ファイバ伝送路12は、光スイッチ16によりオン／オフ変調されたポンプ光により励起される。光ファイバ伝送路12を伝搬したプローブ光は、光バンドパスフィルタ22を透過して受光素子24に入力する。受光素子24は、受光素子24の出力電気信号は、交流成分を検出する検波器26と、直流成分を検出するローパスフィルタ28に入力する。演算回路30は、検波器26及びLPF28の出力から、ラマン利得を算出する。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 1 1 2 5 6 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 2 0 8 8 9 1 ]

1. 変更年月日	2 0 0 2 年 1 1 月 2 8 日
[変更理由]	名称変更
住 所	東京都新宿区西新宿二丁目 3 番 2 号
氏 名	K D D I 株式会社